逆散射问题的逆时偏移方法

黄光辉

摘要

本论文主要研究了时谐声波, 电磁波和弹性波逆散射问题的逆时偏移成像方法及其理论分析. 其主要包括如下两部分内容: 第一部分分别研究了时谐声波, 电磁波和弹性波在自由空间中的逆散射问题; 第二部分研究了平行平板声波波导中的逆散射问题.

逆散射问题在地球物理勘探, 雷达成像, 无损检测和医学成像等诸多领域中有着广泛应用. 第一部分具体包括以下三个工作:

1. 针对时谐声波逆散射问题, 提出了单频声波逆时偏移方法 (RTM) 来对不同类型的不可穿透障碍物和可穿透障碍物进行成像. 对于 Lipstchitz 区域的障碍物, 在不需要高频渐近和 Born 弱散射近似的假设条件下, 对 RTM 成像结果的分辨率给出了严格的数学理论. 大量的数值算例验证了该理论的合理性以及算法强大的成像能力.

2. 针对时谐电磁场逆散射问题, 基于电磁波三分量均可以认为是声波在缓变介质中独立传播的物理事实, 提出了单频电磁波逆时偏移方法来对障碍物进行成像. 该方法只需要采用单个极化方向并且只需要求解一次 Maxwell 方程, 从而提高了电磁波成像的效率. 与声波逆时偏移方法一样, 在不需要高频渐近和 Born 近似的条件下, 建立了严格的数学理论来刻画电磁波 RTM 成像结果的分辨率. 二维和三维数值算例验证了该理论的正确性以及快速三维电磁波成像能力.

3. 针对时谐弹性波逆散射问题, 由于纵波与横波两个不同传播速度的波场同时传播, 提出了单频加权弹性波逆时偏移方法来对障碍物进行成像. 同样地, 给出了严格的数学理论来刻画弹性波 RTM 成像结果的合理性. 数值算例验证了理论的正确性和算法的有效性.

第二部分主要集中研究平行平板声波波导逆散射问题. 声波波导逆散射问题在海洋声学成像, 无损检测等领域有着重要应用. 在散射体满足阻抗边界的条件下, 基于极限吸收原理, 建立了平板声波波导正散射问题的适定性. 针对声波波导逆散射问题, 提出了采用半空间 Green 函数进行反传播和互相关的波导逆时偏移方法 (WRTM), 并给出了与自由空间一样的成像分辨率的理论结果. 在实际应用中, 成像孔径的选取是至关重要的, 本文给出了孔径选取的最佳标准. 同时证明了在声波波导情形下, 上下界面造成的多次反射波对 WRTM 成像结果影响的误差估计. 数值算例表明波导逆时偏移方法的有效性.